



Le site du Lac Bleu et la question de l'extension du pergélisol en France au Pléistocène supérieur

Arnaud Lenoble, Pascal Bertran, Norbert Mercier, Luca Sitzia

► To cite this version:

Arnaud Lenoble, Pascal Bertran, Norbert Mercier, Luca Sitzia. Le site du Lac Bleu et la question de l'extension du pergélisol en France au Pléistocène supérieur. Bertran P., Lenoble A. Quaternaire continental d'Aquitaine : données récentes., Bertran P., Lenoble A., pp.109-121, 2012. halshs-00711165

HAL Id: halshs-00711165

<https://shs.hal.science/halshs-00711165>

Submitted on 25 Jun 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Excursion AFEQ - ASF

30 mai - 01 juin 2012

Quaternaire continental d'Aquitaine : un point sur les travaux récents

sous la direction de
Pascal Bertran^(1, 2)
Arnaud Lenoble⁽²⁾

(1) Inrap Grand Sud-Ouest

(2) PACEA, CNRS-UMR 5199, Université Bordeaux 1



Fédération
des Sciences
Archéologiques
de Bordeaux





Excursion AFEQ – ASF en Aquitaine du 30 mai au 01 juin 2012

Quaternaire continental d'Aquitaine : Un point sur les travaux récents

Sous la direction de Pascal Bertran^{1,2} et d'Arnaud Lenoble²

¹ INRAP Grand Sud-Ouest, Pessac

² PACEA, CNRS-UMR 5199, Université Bordeaux 1

avec la collaboration de

Julie Dabkowski (LGP, Meudon)
Paul Fernandez (PACEA, Talence, Paleotime)
Dominique Genty (LSCE, Gif-sur-Yvette)
Chantal Leroyer (CReAAH, Rennes)
Marion Hernandez (IRAMAT-CRPAA, Pessac)
Nicole Limondin (LGP, Meudon)
Norbert Mercier (IRAMAT-CRPAA, Pessac)

André Morala (MNP, Les Eyzies)
Jean-Pierre Platel (BRGM, Pessac)
Jean-Luc Schneider (EPOC, Talence)
Luca Sitzia (PACEA, Talence)
Jean-Pierre Tastet (EPOC, Talence)
Jean-Pierre Texier (PACEA, Talence)
Alain Turq (MNP, Les Eyzies)
Brigitte Van Vliet-Lanoë (Domaines Océaniques, CNRS, Plouzané)

Mise en page Carole Fondeville, Inrap



1 juin matin

Le site du Lac Bleu et la question de l'extension du pergélisol en France au Pléistocène supérieur

Arnaud Lenoble¹, Pascal Bertran^{1,2}, Norbert Mercier³, Luca Sitzia¹

¹ PACEA, UMR5199, Université Bordeaux, CNRS, bâtiment de géologie, avenue des facultés, 33405 Talence cedex (a.lenoble@pacea.u-bordeaux1.fr, ca3bigio@gmail.com)

² INRAP, 156 avenue Jean Jaurès, 33600 Pessac (pascal.bertran@inrap.fr)

³ CRPAA, Université Bordeaux, Maison de l'Archéologie, 33607 Pessac cedex (norbert.mercier@u-bordeaux3.fr)

1. La question de l'extension du pergélisol au Pléistocène supérieur

On doit à André Cailleux (1948) la première cartographie des phénomènes périglaciaires sur le territoire français. La documentation utilisée par l'auteur sera enrichie par Jean Tricart (1956) pour proposer une carte du Pergélisol au Pléistocène supérieur en France. Selon cette proposition, c'est l'ensemble du territoire national qui a été couvert par le permafrost au cours du dernier cycle climatique.

Ce point de vue n'a cependant pas été suivi par la communauté des quaternaristes. Les cartographies proposées plus récemment font remonter la limite méridionale de l'extension du pergélisol à la confluence Dordogne – Gironde (Maarleveld, 1976) ou en partie moyenne du Massif Central (Velitchko, 1982). Dans les années 2000, une nuance est apportée par la prise en compte de la proportion des terres couvertes par le permafrost. Van Vliet-Lanoë et Hallégouët (2001) font état d'une extension du pergélisol continu sur l'ensemble de la gamme latitudinale de territoire national, mais limité au Centre et à l'Est de la France. À l'Ouest, les influences océaniques font des bassins de la Loire, de la Charente et de la Gironde le domaine du pergélisol discontinu. Cette proposition contraste avec la proposition d'une distribution beaucoup plus septentrionale du permafrost pléistocène que font Renssen et Vandenberghe (2003). Selon ces auteurs, seul un pergélisol discontinu aurait couvert une partie du territoire français. Le quart sud-ouest du pays serait resté libre de toute emprise d'un sous-sol gelé de façon permanente lors des derniers 100 000 ans.

L'Aquitaine, au sein de ces différentes propositions, partage avec le Sud-Est de la France une position privilégiée, celle de secteur clé où la démonstration de la présence ou de l'absence de structure périglaciaire impliquant un pergélisol est de nature à mettre à l'épreuve les différentes propositions des auteurs.

Plusieurs structures ont été décrites par le passé dans cette région. Ce sont tout d'abord des cryoturbations et des fentes en coin à remplissage sableux vues dans les carrières de matériau des environs proches de Bordeaux par Bastin et Cailleux (1941). C'est en particulier sur ces structures que se fonde Cailleux (1948), et Tricart à sa suite (1956), pour avancer la position très méridionale atteinte par le pergélisol au Pléistocène. De nombreux sites ont ensuite été mentionnés à l'occasion du levé de la carte géologique au 1/50 000^e. Plus récemment, des fentes en coin ont été décrites par Texier et Bertran (1993), et de grands polygones visibles sur photo aérienne dans la vallée de la Gironde par Texier (1996). Ces indices forts de la présence d'un pergélisol dans le Sud-ouest de la France sont cependant jugés trop parcellaires par les auteurs pour influencer sur la carte d'extension maximale des terres gelées de façon permanente au Pléistocène. Ils sont pourtant confortés par des études récentes menées à l'occasion de travaux d'archéologie préventive : mise en évidence de glissements de terrain mobilisant des matériaux dont l'instabilité ne peut s'expliquer autrement que par la fonte d'un sous-sol gelé (Bertran et Fabre, 2005) ou, encore, observation de cryoturbations surmontant un réseau de fentes de gel dans les matériaux drainant du Sable des Landes (Bertran *et al.*, 2009).

Toutes ces données régionales convergent pour suggérer que l'extension réelle du pergélisol au Pléistocène supérieur reste sous-estimée. Ce constat a justifié l'élaboration d'une base de données des structures périglaciaires de la région (Lenoble *et al.*, 2010 ; Bertran *et al.*, 2012). Le bilan qui a pu être fait alors permet en particulier d'aborder deux points :

- La durée et l'ancienneté des épisodes d'extension maximale du pergélisol ;
- La nature des structures associées.

2. Le site du Lac Bleu

Le Lac Bleu est l'un des sites révélés par ce travail d'inventaire. Le site présente plusieurs qualités pour aborder la question de l'extension maximale du pergélisol au Pléistocène supérieur :

- Le lieu est une ancienne gravière utilisée à l'après-guerre qui a été réaménagée en parc public. Cela en fait un site pérenne et facilement accessible parmi les localités bordelaises à fentes en coin périglaciaires ;
- Ce site est le seul accessible qui a été vu par les différentes générations de géologues s'étant penchés sur la question des structures périglaciaires girondines, dont Bastin et Cailleux eux-mêmes. Il permet ainsi d'apprécier les structures sédimentaires sur lesquels se sont basés ces auteurs pour fonder leur interprétation ;
- Des travaux récents précisent la description de ces figures, par ailleurs datées par OSL (cf. M. Hernandez, ce livret-guide).

Le Lac Bleu (44°43'26,6 Nord et 0°37'00 Ouest) se trouve sur la commune de Léognan, à 13 km au Sud de Bordeaux (fig. 1). A une altitude de 50-55 m NGF, cette ancienne carrière est creusée dans les dépôts de la haute terrasse dite de « Lustrac-Léognan » (Dubreuilh, 1976). La nappe alluviale est constituée, dans ce secteur, de « sables plus ou moins grossiers, argileux, feldspathiques [...] et petits graviers » (Gayet *et al.*, 1978 : 15). Sur la base de sa position au sein du système de replats alluviaux étagés de la Garonne, la formation de cette terrasse est rapportée au Pléistocène inférieur moyen (Gayet *et al.*, *op. cit.*).

Des sections documentant le sommet de la nappe alluvionnaire sont préservées en plusieurs points des abords du site. Neuf fentes en coin y ont été inventoriées sur ces sections. Les plus complètes sont visibles sur la coupe nord de la parcelle. Une première fente est visible en partie médiane de la section (fig. 2). Quelques autres fentes sont également présentes dans le prolongement ouest de la coupe, espacées de quelques mètres voire d'une dizaine de mètres.

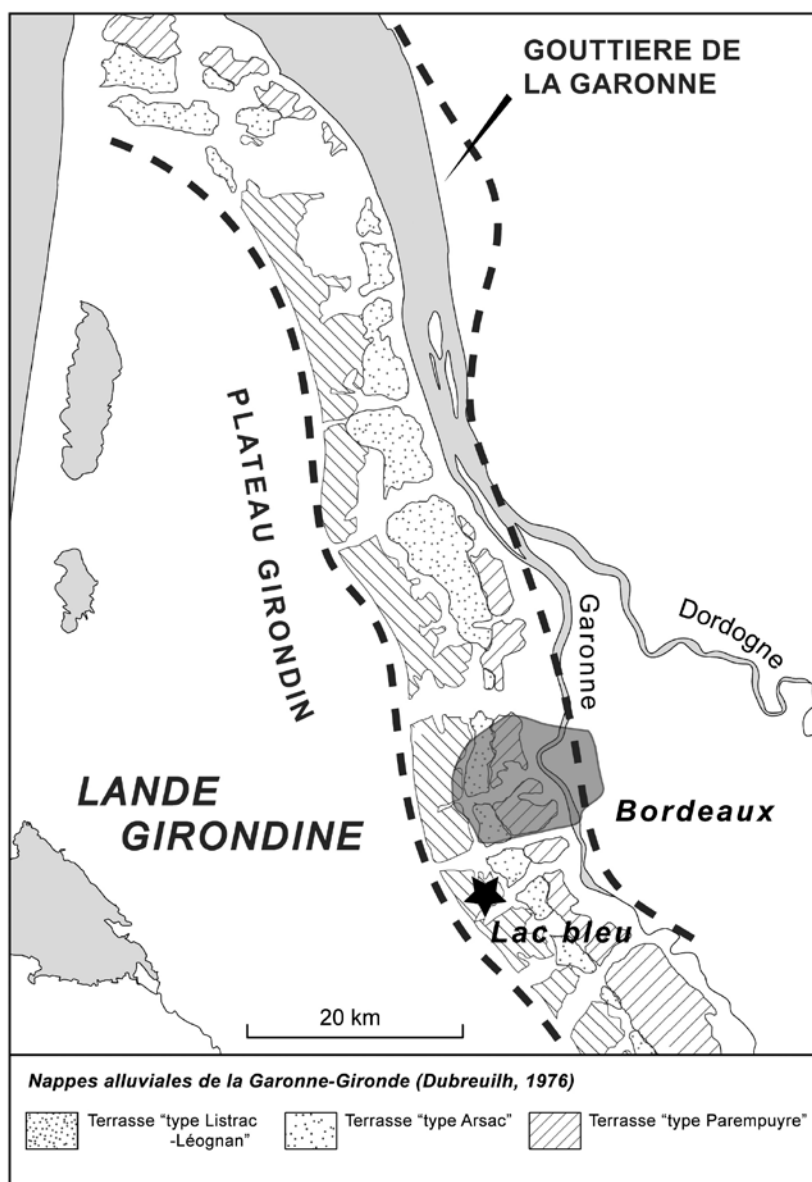


Figure 1 : Localisation du Lac Bleu sur la carte des terrasses de la Garonne.



Figure 2 : Vue de la fente datée du Lac Bleu.

Les caractéristiques des fentes visibles sur ce site tiennent dans les points suivants :

- Un enracinement au sommet de la formation alluviale ou, plus exactement, depuis la base du podzol qui coiffe la terrasse. Cette position désigne des coins épigénétiques, c'est-à-dire formés après la constitution du corps de graviers.
- Une morphologie en coin allongé avec une profondeur comprise entre 0,6 et 1,7 m pour une largeur de 35 à 65 cm au sommet des fentes ;
- Un comblement de sables moyens à grossiers légèrement limoneux moyennement triés (fig. 3) ;
- Une déformation du litage par des rebroussements vers le bas au contact de la fente, et, dans le demi-mètre supérieur de la structure, une désorganisation du litage des alluvions.

Le caractère périglaciaire de ces structures est peu discutable. L'hypothèse alternative de structures liées au retrait-gonflement est exclue, eu égard à la très faible capacité de retrait du matériau alluvionnaire encaissant. L'interruption du litage des alluvions, la présence d'un remplissage et les rebroussements observés permettent également d'exclure des figures liées à une simple fracturation du corps sédimentaire.

Le caractère massif du remplissage ne permet pas de distinguer le type de fente en coin et, en particulier, de statuer sur la présence ou non de glace pérenne lors de la formation des fentes. Pour engager l'interprétation,

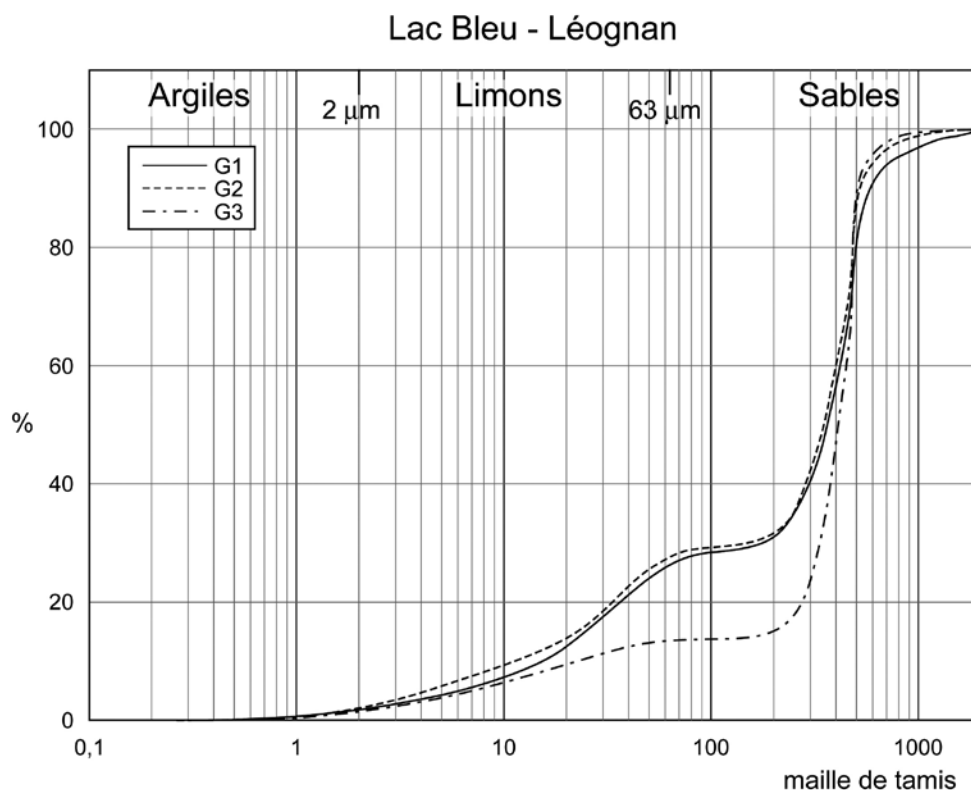
Bastin et Cailleux (1941) s'appuient sur deux caractéristiques du remplissage : la morphologie arrondie et l'état de surface mat des sables. Les auteurs y voient la démonstration d'un comblement par piégeage d'un sable éoliens lors des épisodes d'ouverture des fentes. Ce point de vue est appuyé par la présence de galets éolisés, si ce n'est facettés, présents à la base du podzol. Ces galets témoignent de l'existence passée d'un pavage qui accrédite l'interprétation de fentes comblées par des matériaux éoliens dans un environnement périglaciaire désertique.

Ces considérations ont conduit les deux auteurs à reconnaître dans ces figures des fentes de contraction thermique comblées par une fraction détritique au gré de leurs épisodes d'ouverture. Cela exclut que les coins observés soient des pseudomorphoses de coin de glace, où le remplissage se fait par accumulation de sédiment depuis le matériel encaissant ou sus-jacent à la fonte du corps de glace. Les interprétations possibles sont donc celle de coins à remplissage minéral primaire, où le comblement détritique se limite à des apports éoliens, ou celle de coins composites, où une fraction éolienne se mêle à un corps de glace pérenne.

Les caractéristiques observées sur les structures les mieux préservées permettent de préciser l'interprétation génétique des coins :

- La partie sommitale des coins présente une forme d'entonnoir. Cet évasement se développe sur une hauteur de 30 à 50 cm. Le comblement de cette partie, massif et riche en petits galets alluviaux, présente une limite inférieure concave.

Figure 3 : Courbes granulométriques des échantillons prélevés dans le remplissage principal de la structure (G1 et G2) et dans la partie ancienne du remplissage (G3).



- La fente se poursuit vers le bas en s'aminçissant progressivement. Le colmatage est celui de sables massifs à rares granules.
- La délimitation des épontes est irrégulière, par juxtaposition de plages de sable ocre allongées verticalement de part et d'autres de la fente. Ces plages ocres présentent des caractères de texture et de structure légèrement différents du remplissage principal, à savoir une fraction limoneuse moindre, une forte compaction, un débit fissural lamellaire et une lamination verticale mal exprimée.

Ces caractéristiques conduisent à reconnaître des fentes en coin ayant fonctionné à deux reprises. Une première phase de fonctionnement se signe par un remplissage de sable pour lequel la lamination verticale permet d'avancer qu'il s'agit de coins à remplissage sableux primaire. Le réseau de fentes est rouvert à la faveur d'un second épisode de fonctionnement. Le remplissage associé à cette seconde phase se caractérise par l'absence de lamination et par un sommet de coin colmaté par un matériau non éolien. Ces deux caractéristiques témoignent de la fusion d'un corps de glace ; elles permettent de diagnostiquer de coins à remplissage sableux composite.

Il est intéressant de mettre ces structures en relation avec la vue aérienne *Google Earth* de la parcelle présente au Sud (**fig. 4**). Cette photo est la plus méridionale des vues aériennes de grands polygones de la région bordelaise. Elle permet de reconnaître une série de grands polygones comparables à ceux qui peuvent être observés dans le Haut Médoc (cf. *infra*), et dans lesquels on reconnaît des macropolygones fossiles.

La datation par OSL du comblement principal de cette structure a donné un âge de $25,5 \pm 2,2$ ka. La reconnaissance de coin à remplissage sableux composite a pour principal implication la présence d'un pergélisol en Aquitaine qui, selon la datation obtenue, prend place à la fin du stade isotopique marin (SIM) 3.

3. Place du site dans le corpus de données du nord de l'Aquitaine

Cette interprétation soulève plusieurs questions, au premier titre desquelles 1) la robustesse de l'interprétation avancée, 2) le type de pergélisol associé, sporadique, discontinu, ou continu, et, par voie de conséquence, les conditions paléoclimatiques associées à cet événement et, 3) l'âge, la durée et la répétition

de ce type d'événement au Pléistocène supérieur. Ces questions trouvent des éléments de réponse en comparant les structures observées sur le site du Lac Bleu aux autres figures périglaciaires connues en Aquitaine.

On trouve, dans l'inventaire régional des figures périglaciaires, de nombreux analogues au site du Lac Bleu.

3.1. Vues aériennes de grands polygones

Quarante-neuf sites à grands réseaux de polygones visibles du ciel sont recensés. A l'exception du Lac Bleu, tous se situent dans le Haut Médoc. La vue aérienne publiée par Texier (1996) est l'un deux. Tous ces sites font apparaître des réseaux de fentes où la maille moyenne des polygones est de 18 m (**fig. 5**).

Les parcelles supportant ces figurés s'échelonnent sur 25 km d'Arsac et Pauillac. Elles se distribuent sur la moyenne et la basse terrasse de la

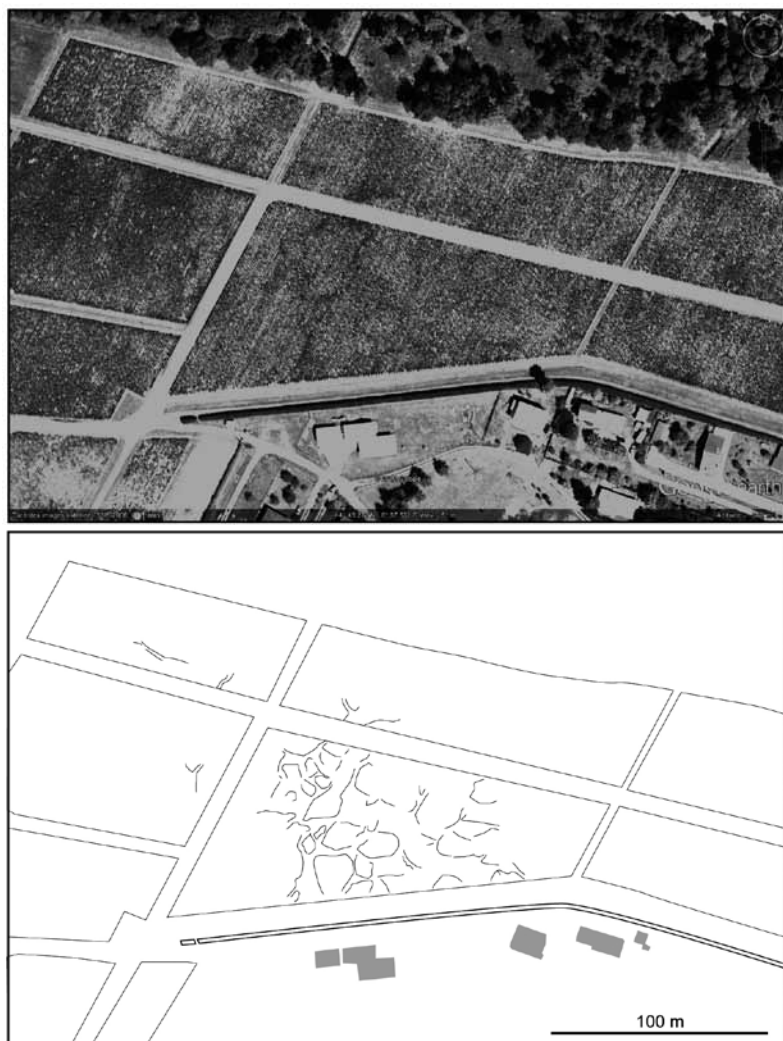


Figure 4 : Grands polygones en vue aérienne apparaissant dans la parcelle au sud du Lac Bleu en période de stress hydriques des plans de vigne. Gauche : vue Google Earth du 31/08/2006 ; droite : dessin des linéations observables sur cette même vue.

Gironde. Ces dernières, dans ce secteur, sont dépourvues de la nappe de sables éoliens qui masque ailleurs les alluvions (Dubreuilh et Platel, 1978). C'est à ce facteur que l'on attribue la « fenêtre de visibilité aérienne » d'un réseau vraisemblablement beaucoup plus étendu.

3.2. Association entre fentes en coin et réseau de polygones

Des fentes en coin sableuses ont été découvertes dans trois sites de la commune de Cussac-Fort Médoc : deux coins vus sur un vieux fossé parcelaire, six fentes

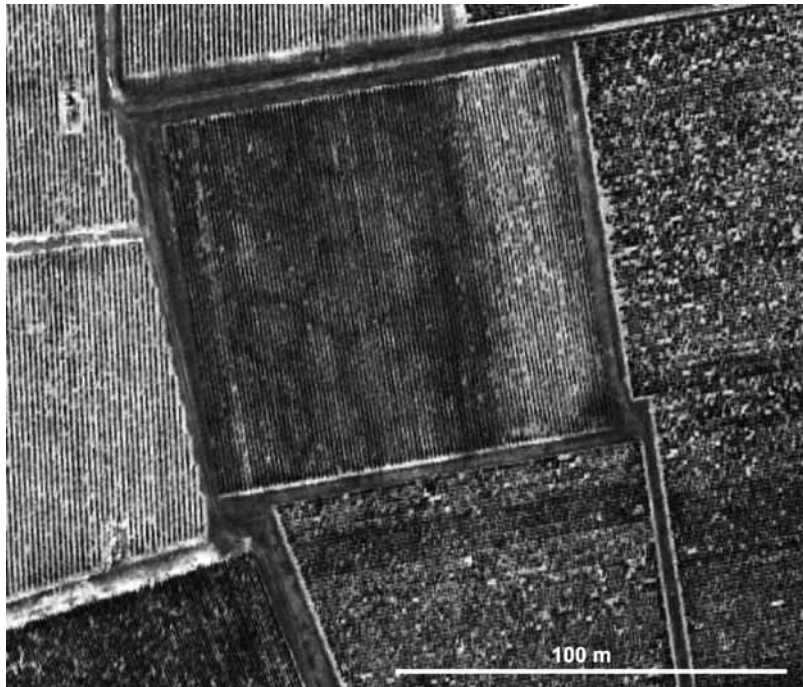


Figure 5 : Photo aérienne de grands polygones dans la région du Haut Médoc. Vue Google Earth du 31/08/2006, commune de Cussac de Fort Médoc.



Figure 6 : Vue d'un coin à remplissage sableux composite observé dans le fossé bordant la déchetterie de Cussac-Fort Médoc. L'échelle mesure 50 cm.



Figure 7 : Vue d'un coin sableux présent sur le front de carrière d'une exploitation de grave de la commune d'Arbanats. L'échelle est donnée par l'étui d'appareil photo long de 15 cm.



Figure 8 : Vue d'un coin sableux composite de la vieille carrière de Canton. L'échelle est de 20 cm.

reconnues dans le fossé bordant la déchèterie (fig. 6), et vingt-trois coins dénombrés sur les 220 m d'un fossé de drainage récemment creusé dans une parcelle du château Haut-Lagrange. Ces trois sites, qui se placent au cœur de la zone visibilité aérienne du réseau polygonal, témoignent également d'une association entre les coins à remplissage sableux et le réseau de grands polygones vu sur photos aériennes.

Deux fentes en coin du fossé de drainage de la parcelle du château Haut Lagrange ont été datées par OSL. Les âges sont comparables entre eux, et indistincts de celui obtenue au Lac Bleu : $26,6 \pm 1,6$ et $27,7 \pm 1,7$ ka.

3.3. Caractère polyphasé du réseau de fentes

Un comblement de fente par emboîtement de remplissages distincts impliquant plusieurs phases d'ouverture du réseau a également été relevé sur l'un des coins du fossé de drainage de Cussac Fort-Médoc, ainsi que sur un coin observé à la faveur du front de carrière d'une exploitation de Graves situés à Arbanats, au sud du département (fig. 7). Dans chaque cas, la première phase est recoupée à l'emporte-pièce, comprimée et déformée en bordure de fente. La différence de texture ou la lamination du comblement sableux a pu être notée dans le premier et le second site, respectivement.

3.4. Première phase à fentes minérales primaires

La reconnaissance d'une première phase de fonctionnement du réseau sous la forme de coins minéraux primaires s'appuie sur les exemples du Lac Bleu et de l'exploitation de graves d'Arbanats. Cet événement est surtout illustré par le site du Haut-Bacalan, commune de Pessac. Le décaissage mécanique réalisé sur cette parcelle a mis au jour un réseau de fentes à remplissage sableux à lamination verticale bien exprimée. C'est le seul exemple que l'on connaisse où un réseau à remplissage primaire n'a pas été ré-exploité secondairement. La datation OSL obtenue sur le remplissage, avec un âge de $34,3 \pm 2,8$ ka, confirme cependant que la formation de ce réseau précède la phase à coins composites du Lac Bleu.

Des coins à remplissage sableux primaires sont également connus en rive droite de la Garonne, dans le nord de la Gironde ou dans les Charentes. Quelques uns ont été révélés dans les alluvions d'un affluent de la Charente par les fouilles archéologiques menées à proximité de Jonzac (Airvaux *et al.*, 2003), tandis que de plusieurs exemples ont été découverts dans les terrains détritiques cénozoïques à l'occasion des travaux de sondages d'archéologie préventive préalables à la construction de la ligne TGV Angoulême - Bordeaux (Bertran, 2009).

3.5. Seconde phase à coins composites

Dans le secteur girondin, la confirmation la plus manifeste de l'existence de coins composites est apportée par une fente en coin de la vieille carrière de matériau de Canton, commune de Louchats. Le coin se développe au sein de vieilles alluvions de la Garonne de faciès sablo-limoneux. La partie évasée du coin est comblée par les sables qui coiffent les alluvions, mêlés de graviers, tandis que la partie profonde de la fente est colmatée d'un sable massif à grains éolisés. On retrouve ici un comblement en partie secondaire qui caractérise un coin composite. Surtout, le contact entre l'évasement du sommet de fente et sa partie inférieure à bords sub-parallèles se superpose strictement à une rupture de gradient de la structure lamellaire qui débite les alluvions encaissantes. Ce profil cryogénique et l'évasement conjoint du sommet de la fente permettent de reconnaître la position de la table du pergélisol en relation avec lequel s'est formé le coin. L'épaisseur de la couche active peut alors être estimée à un demi-mètre environ.

Les caractéristiques sédimentologiques des fentes coins en coin recensées dans le nord de l'Aquitaine montrent que l'interprétation des structures du Lac Bleu est robuste. Les observations sur lesquelles se base l'interprétation des structures sont récurrentes sur des nombreux autres sites.

La prise en compte de la distribution géographique de ces fentes en coin apporte des éléments pour apprécier l'étendue du pergélisol associé (fig. 8). La carte de distribution de ces figures montre que le réseau de grands polygones sur les photos aériennes du Médoc s'étend, *a minima* sur une distance de 150 km le long de la Garonne, de la Pointe des Graves au Landais. Ce secteur est celui où les figures sont le plus facilement identifiables : épaisseur de sables éoliens de couverture faible ou nulle, matériaux alluviaux favorables à la préservation des figures, abondance des carrières et de fossés de drainage permettant la multiplication des observations. L'identification de quelques sites à fentes en coins plus à l'Ouest, dans le secteur du plateau girondin, indique toutefois que la zone d'emprise du pergélisol est plus étendue encore.

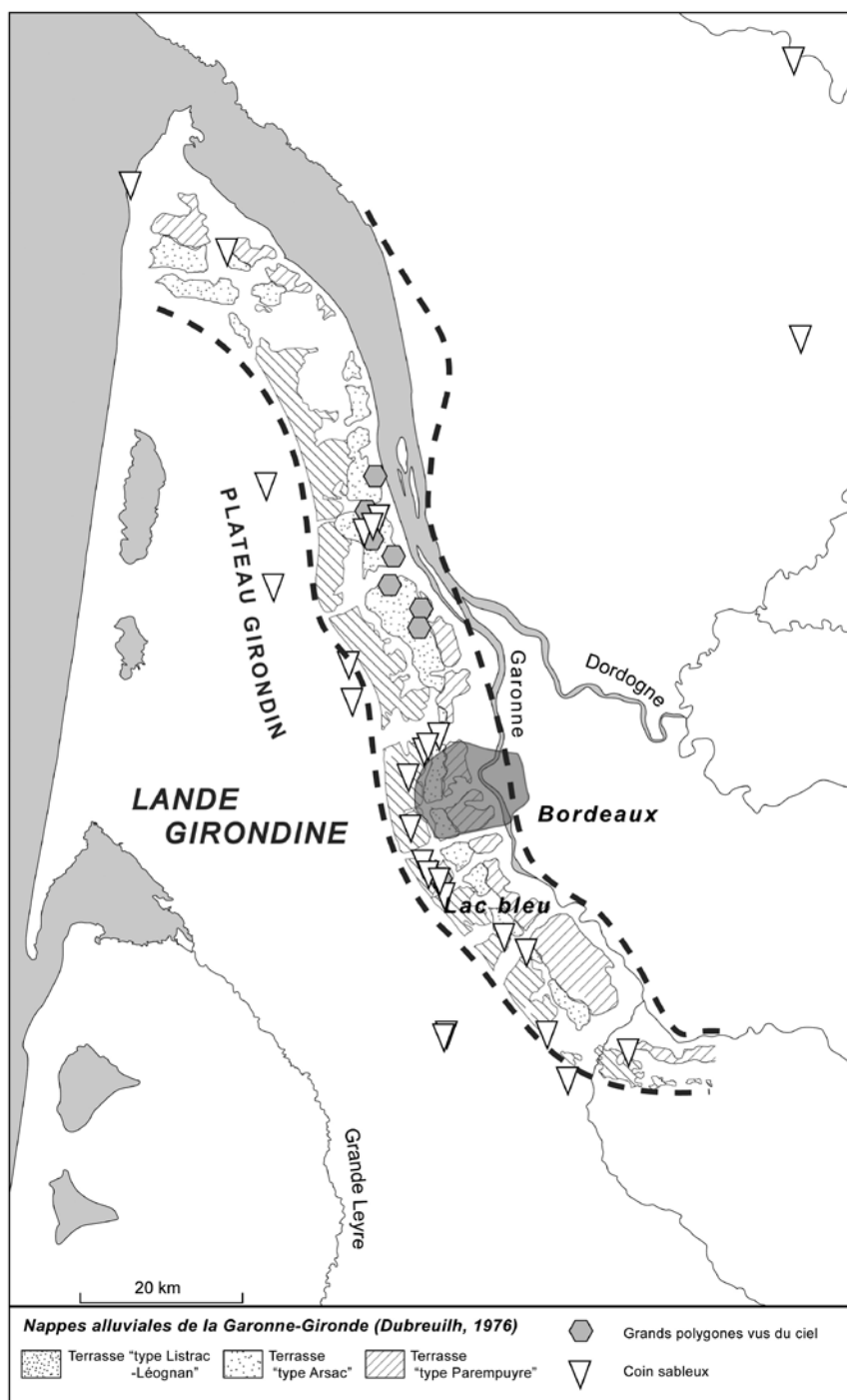
La mise en évidence de coins sableux mixtes permet donc de reconnaître la présence d'un épisode de pergélisol, *a minima* discontinu, dans le nord de l'Aquitaine au Pléistocène. Cette interprétation est confirmée par la densité et la continuité des points de visibilité aérienne dans le Haut Médoc et des points d'observations des coins sableux associés.

3.6. Autres figurés périglaciaires

D'autres figurés périglaciaires existent régionalement. On retiendra en particulier les réseaux de petits polygones et les grandes cryoturbations. Les lagunes et les mares landaises, considérées un temps comme des dépressions thermokarstiques fossiles (Boyé, 1958), ne sont pas prises en compte ici. Des travaux récents ont montré que certaines d'entre elles résultaient de phénomènes karstiques (Texier, 2011), tandis qu'aucune démonstration d'une origine périglaciaire n'a pu être apportée à ce jour.

Les grandes cryoturbations, où la puissance de la couche cryoturbée avoisine ou dépasse le mètre, sont peu

fréquentes en Aquitaine. Quelques exemples sont connus dans les alluvions de la Garonne (Bastin et Cailleux, 1941 ; Dubreuilh, 1976), ainsi que dans les formations de versants de Périgord ou de Charentes (Guillien, 1949 ; Texier, *in litteris*). Il s'agit le plus souvent de déformations épigénétiques dont on ne connaît pas l'ancienneté. Leur âge de formation est plus facile à apprécier lorsque ces cryoturbations s'intercalent dans des séquences archéologiques de grotte ou d'abri-sous-roche, à l'image des involutions spectaculaires de la grotte Vauffrey ou des grandes cryoturbations de l'abri du Pech-de-l'Aze II (Texier, 2009). Pour la période qui concerne les réseaux de polygones girondins (fin SIM 3 et SIM 2), deux sites peuvent être considérés : la Grotte XVI, à Cénac-Saint-Julien, en Dordogne, et l'abri de la Chaire-à-Calvin, commune de Mouthiers-sur-Boëme, en Charente.



Le premier site livre de grandes involutions, jusqu'à 1,8 m ! Ces déformations sont reconnues comme les manifestations de la fusion d'un pergélisol (Kervazo et Texier, 2010). Elles reprennent les niveaux à industries du Paléolithique supérieur dont des éléments les plus récents se rapportent à un Solutréen d'âge moyen 20 300 ^{14}C BP, tandis qu'elles sont enfouies par des niveaux contenant des industries du Magdalénien supérieur donnant un âge ^{14}C de 12 400 BP environ. Cette position stratigraphique place ces déformations entre la toute fin du stade isotopique 2 et la seconde partie du Tardiglaciaire (Alleröd).

L'abri de la Chaire-à-Calvin est connu pour les polygones triés spectaculaires décrits par Alimen (fig. 9). L'auteur y reconnaît la manifestation d'un pergélisol (Alimen 1950). La reprise récente de fouilles par C. Delage a montré que ce cryosol s'intercale entre les niveaux archéologiques magdaléniens anciens et magdaléniens moyens (Delage *et al.*, 2010). Les datations radiométriques, en accord avec les données archéo-stratigraphiques régionales, encadre assez précisément cet horizon entre 15 et 15,5 ka ^{14}C BP.

Figure 9 : Carte de distribution des coins sableux et des vues aériennes de polygones dans les départements de Gironde, de Charente et de Charente Maritime.

Ces deux exemples attestent d'un épisode à pergélisol, au moins dans des situations particulières de grottes et d'abris. Les relations stratigraphiques avec les niveaux archéologiques de ces sites et les datations radiométriques associées montrent que cet épisode est plus récent que celui dont témoignent les fentes en coin du Lac Bleu.

Pour être complet, il convient d'ajouter les réseaux de petits polygones très fréquemment rencontrés sur les terrains riches en matériau fin (sables limoneux, limons, argiles). Il s'agit de réseaux de fentes de cryodessiccation profonds en moyenne de 1 m et dont la maille est comprise entre 30 et 70 cm. Le sédiment encaissant présente un caractère fragique affirmé : compaction, structure lamellaire fissurale. Cent seize sites ont ainsi été recensés. Ils se distribuent sur l'ensemble du Sud-ouest de la France. De tels réseaux ont été décrits enfouis sous des paléosols de rang interglaciaire, attestant par la même leur occurrence au Pléistocène moyen (Brenet *et al.*, 2008 ; Bertran, 2009). La stratigraphie détaillée du site des Tares, dans la moyenne vallée de l'Isle, fait également apparaître le développement de ces figures dans la première moitié du dernier cycle climatique (Bertran et Texier, 1990). Pour la seconde partie du Pléistocène supérieur, seul l'abri Bouysonie, à Brive, livre deux réseaux de petits polygones superposés en stratigraphie. Le premier est intercalé entre les industries gravettiennes et solutréennes, et le second est pénécontemporain des premiers niveaux magdaléniens. L'âge du dernier de ces événements a pu être précisé sur la base des relations stratigraphiques avec les industries des sites archéologiques de plein air. Des petits polygones se superposent ainsi aux industries solutréennes des sites du Bourrut (Landes) et de Cantalouette 2 (Dordogne), au niveau badegoulien du site de Marsas (Gironde) ou, encore, à l'industrie du Magdalénien ancien du site de Lacaud (Dordogne). Cette dernière relation stratigraphique a été mise en avant par Texier et Bertran (1993) pour situer cet événement à la transition des stades isotopiques 2 et 1. L'âge comparable de ce réseau de petits polygones le plus récent et des grandes cryoturbations observées en abris et en grotte permet de rattacher ces deux types de figures à un même événement climatique.

L'interprétation de ces figures est délicate, pour deux raisons. La première est que les horizons supérieurs associés à ces réseaux sont rarement préservés. Et lorsqu'ils le sont, il est très difficile de s'assurer que les caractéristiques qu'ils montrent ne résultent pas d'un cumul de pédogenèses successives pour reconnaître un profil cryogénique impliquant la présence d'un pergélisol, comme l'ont fait Langhor et Van Vliet-Lanoë (1981) en Belgique.

La seconde est que de telles figures se forment dans différents des environnements périglaciaires variables. Elles ont été reconnues comme l'expression d'un

pergélisol continu sur terrain riche en matériau fin par Payton (1992). Mais elles peuvent ne représenter pas plus qu'un réseau de cryodessiccation induit par des gels saisonniers profonds (Hamelin et Cook, 1967). La large gamme des conditions environnementales qui autorisent la formation de ces réseaux explique probablement leur large distribution, tant stratigraphique que géographique.

4. L'âge des structures

La **figure 10** résume l'interprétation chronologique des données exposées. Trois événements à pergélisol sont distingués :

- Le premier événement se caractérise principalement par le développement de coins de sables à remplissage minéral primaire. On y rattache les coins observés à Jonzac et en Charente, ainsi que la première phase de fonctionnement du réseau girondin de grands polygones. Sur la base de la date obtenue sur le site du Haut Bacalan, cet épisode est situé entre 30 et 40 ka BP. Une date comparable a également été obtenue à Jonzac (Gumprich *et al.*, sous presse). La prise de l'incertitude de l'âge à deux sigmas ne permet pas d'exclure de façon certaine la contemporanéité entre ces structures et les coins sableux ayant livré un âge moyen plus récent. On s'appuie toutefois sur l'antériorité du remplissage minéral primaire des coins biphasés de Gironde (Lac Bleu, Cussac-Fort Médoc et Arbanats) pour retenir l'interprétation d'un événement spécifique plus ancien que celui conduisant au développement de coins composites.

- Le second événement correspond aux coins composites qui forment l'essentiel du corpus de fentes en coin reconnus en Gironde. Cet événement se signe en particulier par les macropolygones visibles en photo aérienne. Les dates obtenues au Lac Bleu et sur les coins du fossé de drainage de Cussac-Fort Médoc désignent un événement prenant place entre 24 et 30 ka BP.

- Le dernier événement correspond aux grandes cryoturbations observées en abris-sous-roche et en grotte auxquelles se rattache, en plein air, le dernier épisode de polygones de cryodessiccation. Les relations entre ces structures et les industries archéologiques ou les dates radiométriques des sites préhistoriques indiquent un âge de 15 à 15,5 ka ¹⁴C BP, soit environ 18 ka cal BP.

Ces trois événements sont considérés comme distincts, entrecoupés de périodes où le pergélisol est absent. Cette conclusion s'appuie sur le caractère discret des structures observées en stratigraphie et sur l'emboîtement des remplissages des coins biphasés impliquant un hiatus entre les différentes phases de fonctionnement. La largeur des coins soutient également ce résultat. Celle-ci est le plus souvent comprise entre

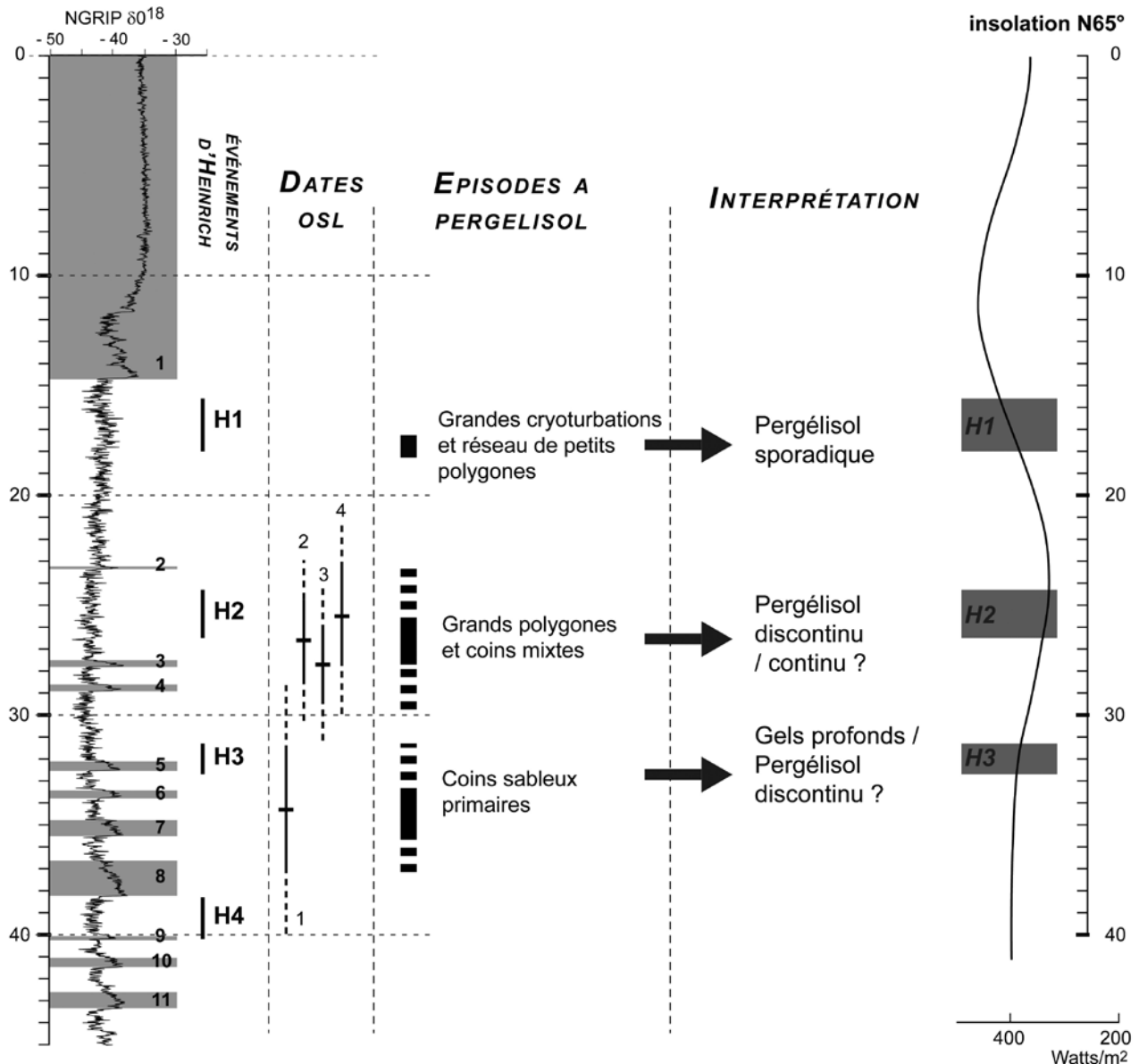


Figure 10 : datations des structures périglaciaires et interprétation. Les dates représentées sont issues des sites du Haut-Bacalan (1), du fossé de la parcelle du château Hat-Lagrange (2 et 3) et du Lac Bleu (4). Les événements de Heinrich sont replacés sur la courbe NGRIP sur la base des dates retenues par Sanchez-Goni et Harrison (2010). La courbe d'insolation est celle de Berger et Loutre (2004).

10 et 25 cm et atteint, parfois, 50 cm sur les sites du Haut Médoc. Sur la base des mesures faites à l'actuel, le taux moyen annuel de croissance des fentes en coin peut être estimé à 1 ou quelques millimètres par an (Black, 1976 ; Mackay, 1992). Les fentes en coin observées n'impliquent donc pas plus qu'un événement couvrant quelques décennies à quelques siècles. En considérant que les fentes ont pu ne s'ouvrir que sur des intervalles pluriannuels, leur durée de formation est peut-être proche du millénaire. Ces durées de formation sont dans tous les cas trop brèves pour couvrir l'intervalle séparant chaque événement.

On relève avec intérêt que ces événements se succèdent à des intervalles plurimillénaires de durée comparable. Cette rythmicité renvoie aux fluctuations abruptes du climat et, plus particulièrement, aux événements d'Heinrich (Grousset, 2001). La corrélation est évidente

pour le plus récent de ces trois épisodes, bien situé chronologiquement. Elle est moins assurée, mais reste tout à fait crédible pour les deux événements les plus anciens.

Cette mise en parallèle apparaît cependant d'autant plus fondée qu'elle apporte une explication au caractère discret des événements reconnus. Les débâcles d'iceberg auxquels correspondent les événements d'Heinrich, en provoquant un refroidissement des eaux océaniques de surface dans les moyennes latitudes, rompent la circulation thermo-haline et, par là même, provoquent un refroidissement des températures sur le continent proche (Sanchez-Goni et Harrison, 2010). Les trois événements à signature périglaciaire reconnus représenteraient donc, à une échelle régionale, la signature continentale des trois derniers événements d'Heinrich.

5. Implications paléoclimatiques

Les mêmes causes ne provoquent cependant pas les mêmes effets. Chaque épisode d'extension du pergélisol a une signature propre. Un facteur important de cette variabilité peut être recherché dans les paléoclimats associés.

Du point de vue paléoclimatique, la reconnaissance du type de pergélisol est essentielle pour déterminer, par comparaison au référentiel actualiste, les conditions climatiques associées à ces phases. Ainsi, de façon classique et malgré des disparités régionales significatives importantes, les auteurs distinguent le domaine du pergélisol continu impliquant des températures moyennes annuelles de l'air (TMAA) -inférieures à -6 ou à -8 °C avec une température du mois le plus froid \leq -20°C, le domaine du pergélisol discontinu qui se développe pour une TMAA plus élevée mais inférieure à -1 à -4 °C et le domaine du pergélisol sporadique où la TMAA est inférieure à 1°C (Washburn, 1980 ; French, 1996 ; Vandenberghe et Pissart, 1993 ; Levavasseur *et al.*, 2011). Ces trois domaines sont différenciés par la valeur de leur taux de couverture du paysage : supérieur à 80% pour le pergélisol continu, entre 80% et 20% pour le pergélisol discontinu et inférieur à 20 % pour le pergélisol sporadique.

Le taux de couverture du paysage reste un élément difficile à apprécier dans le fossile. Les auteurs s'appuient alors sur la nature des signatures périglaciaires reconnues (Vandenberghe et Pissart, *op. cit.*). Les figures de thermo-contraction (grands polygones) et les structures associées impliquant un corps de glace pérenne (pseudomorphoses de coin de glace, coins composites) sont ainsi considérés comme des indicateurs fiables d'un pergélisol continu, d'autant plus que ces structures sont observées aux dépens d'un matériau peu favorables à la contraction thermique (sables et galets).

Ces notions de couverture du paysage et de structures associées permettent de proposer une interprétation paléoclimatique des épisodes de pergélisol distingués :

- La première phase se caractérise par un remplissage des coins d'origine éolienne. A ce titre, elle signe un événement climatique aride. La formation de grands polygones par contraction thermique des formations encaissantes implique des chutes brutales et importantes de température au cours de l'hiver. Mais l'absence de glace pérenne ne permet pas d'en déduire un pergélisol (Murton *et al.*, 2000). Deux hypothèses peuvent alors être formulées : 1) ces figures se seraient formées en domaine périglaciaire à gel saisonnier profond ou, 2) elles représenteraient un épisode de pergélisol au cours d'un événement climatique particulièrement aride. Dans cette seconde hypothèse, la distribution des coins aussi

bien en fond de vallée, en versant que sur des replats alluviaux en position haute du paysage est suffisamment variée pour témoigner, a minima, d'un pergélisol discontinu.

- Le second événement se caractérise par la présence de coins composites où de la glace subsiste sous une couche active peu épaisse tout au long du fonctionnement d'un réseau de grands polygones. C'est donc un événement de pergélisol discontinu voire continu qui s'y rattache. La large distribution du réseau de grands polygones soutient cette interprétation. Ce second épisode répond donc un événement climatique particulièrement rigoureux où les TMAA auraient pu être de -19°C inférieures à l'actuel.

- Le dernier événement se caractérise par des évidences de corps de glace limitées aux abris et aux grottes et par des réseaux de petits polygones en plein air. On voit dans ce contraste entre la distribution de ces deux figures la signature d'un épisode de pergélisol sporadique où seuls les sites placés dans des conditions particulières du paysage préservent des corps de glace pérennes.

L'interprétation avancée admet deux réserves. La première est qu'elle fait appel à des hypothèses implicites telles que la synchronie des coins à remplissage sableux primaire observés régionalement. La datation d'un plus grand nombre de figures est ici nécessaire pour valider ou invalider cette hypothèse. La seconde réserve tient à la fiabilité du référentiel actualiste utilisé pour interpréter les structures. Des travaux récents remettent en cause la pertinence de ce référentiel (e. g. Murton et Kolstrup, 2003). En particulier, l'étude de Matsuoka (2011) porte le doute sur la relation qui existe, pour le développement du pergélisol, entre texture des matériaux et TMAA. L'auteur avance qu'en condition limite de formation du pergélisol, une partie de l'eau reste à l'état liquide dans les terrains riches en fines pour des températures supérieures à -5°C. Ces terrains gardent en conséquence une capacité à se déformer et à absorber les contraintes liées à la thermo-contraction, à l'inverse des terrains plus grossiers, sableux par exemple. Dans ces derniers, la totalité de l'eau est en effet à l'état solide lorsque la température est inférieure à -1°C. Ils seraient en conséquence sont plus prompts à se fissurer en grands polygones. Cette dernière réserve pose d'autant plus question quant à l'interprétation des figures décrites que l'observation dans le sud-ouest de la France de fentes en coins formées aux dépens de matériaux limoneux ou limono-argileux reste exceptionnelle.

L'interprétation proposée présente toutefois une grande cohérence qui nous conduit à la juger fiable. Elle fait apparaître une réponse continentale aux événements d'Heinrich impliquant des baisses de température variables. Cette réponse distincte trouve son sens en prenant en compte les variations d'insolation aux

moyennes latitudes. La mise en parallèle des événements paléoclimatiques identifiés et de la courbe de la variation passée d'insolation fait en effet apparaître une corrélation entre le type de pergélisol reconnu et l'insolation. L'expression régionale du pergélisol est alors déterminée par deux variables : le refroidissement des eaux océaniques de surface et l'insolation.

6. Conclusion

L'existence d'un pergélisol dans le Sud-Ouest de la France au Pléistocène est peu contestable : les figures sédimentaires qui attestent de son existence sont suffisamment nombreuses et diagnostiques pour confirmer les interprétations faites par les auteurs au siècle passé.

La prise en compte des structures périglaciaires et de leur âge sur l'ensemble de la région fait cependant apparaître une complexité plus grande que ne pouvait le faire apparaître les précédents travaux. Ce n'est pas en effet une incursion du pergélisol dans le Sud-ouest de la France qui est mise en évidence, mais trois, pour les seuls derniers 40 000 ans.

Cette succession d'événements est mise en relation avec les variations abruptes du climat et, en particulier les événements d'Heinrich. On impute au refroidissement des eaux océaniques accompagnant ces événements l'origine de ces incursions méridionales du pergélisol. Cette relation causale n'est cependant pas univoque, dans la mesure où la nature de la réponse continentale est également déterminée par la valeur de l'insolation aux moyennes latitudes. Il en résulte des événements aux signatures spécifiques faisant apparaître une grande variabilité paléoclimatique en Aquitaine au Pléistocène supérieur.

Bibliographie

Airvaux J., Berthet AL-L., Castel J.-C., 2003 : Le gisement aurignacien de Chez Pinaud 2, à Jonzac, Charente-Maritime. *Préhistoire du Sud-Ouest*, 10, p. 25-75.

Alimen H., 1950 : Indications climatiques dans les couches archéologiques d'un abri (sol polygonal de Mouthiers, Charente). *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 47, p. 286-288.

Bastin A., Cailleux A., 1941 : Action du vent et du gel au Quaternaire dans la région bordelaise. *Bulletin de la Société géologique de France*, série 5, 11 (7-9), p. 259-266.

Berger A., Loutre M.-F., 2004 : Théorie astronomique des paléoclimats. *Comptes Rendus Géoscience*, 336 (7-8), p. 701-709.

Bertran P., Texier J.-P., 1990 : L'enregistrement des phénomènes pédo-sédimentaires et climatiques. L'exemple de la coupe des Tares (Dordogne). *Quaternaire*, 1 (1), p. 77-90.

Bertran P., 2009 : *Autoroute A65 Pau-Langon. Etude géomorphologique générale*. Rapport non publié, INRAP, Pessac 52 p.

Bertran P., 2009 : *LGV section 19. Etude géologique*. Rapport non publié, INRAP, Pessac.

Bertran P., Allenet G., Gé T., Naughton F., Poirier P., Sanchez Goni M.-F., 2009 : Coversand and Pleistocene palaeosols in the Landes region, southwestern France. *Journal of Quaternary Science*, 24 (3), p. 259-269.

Bertran P., Antoine P., Legentil C., Lenoble A., Moine O., Luca S., 2012 : Distribution et chronologie du Pergélisol en France au Pléistocène supérieur: base de données et premiers résultats. Communication présentée au colloque Q8 « Variabilité spatiale des environnements quaternaires contraintes, échelles et temporalités », Clermont-Ferrand, 29 février – 2 mars 2012.

Bertran P., Fabre R., 2005 : Pleistocene cryostructures and landslide at Petit-Bost (southwestern France, 45°N). *Geomorphology*, 71, p. 344-356.

Black R.F., 1976 : Periglacial features indicative of permafrost: ice. Ice and soil wedges. *Quaternary Research*, 6, p. (1), p. 3-26.

Brenet M., Folgado M., Lenoble A., Bertran P., Vieilleigne E., Guibet P., 2008 : Interprétation de la variabilité technologique de deux industries du Paléolithique moyen ancien du Bergeracois: Cantalouette 1 et Combe Brune 3 (Creysse, Dordogne). Contexte géoarchéologique et chronologique, analyse technico-économique. *Mémoire de la Société Préhistorique Française*, 47, p. 57-81.

Boyé M., 1958 : Les lagunes du plateau landais. *Biuletyn Peryglacjalny*, 6, p. 195-225.

Cailleux A., 1948 : Carte des actions périglaciaires quaternaires en France. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de France*, 225 (47), p.33-39.

Delage C., Argant J., Fontana L., Lenoble A., Queffelec A., 2010 : *La Chaire-à-Calvin (Mouthiers-sur-Boëme, Charente)*. Rapport de sondage ; opération de nettoyage de coupe stratigraphique. Service régional de l'archéologie de Poitou-Charentes, Poitiers, 52 p.

Dubreuilh J., 1976 : *Contribution à l'étude sédimentologique du système fluvial Dordogne – Garonne dans la région bordelaise. Les ressources en matériaux alluvionnaires du département de la Gironde*. Thèse d'université, Université Bordeaux 1, 273 p.

- Dubreuilh J., Platel J.-P., 1978 : *Etude géologique préliminaire à la recherche de granulats au large de l'estuaire de la Gironde*. Rapport d'étude, BRGM, Pessac, 38 p.
- French H.-M., 1996 : *The periglacial environment*. Wiley, Londres, 3^{ème} éd., 478 p.
- Gayet J., Alvinerie J., Dubreuilh J., 1978 : Carte géologique de la France (1/50 000), feuille de Pessac, n° 827. BRGM, Orléans, notice de 33 p.
- Grousset F., 2001 : Les changements abrupts du climat depuis 60 000 ans. *Quaternaire*, 12 (4), p. 203-211.
- Guillien Y., 1949 : *Sédimentation quaternaire : région des Charentes et de la Dordogne*. Livret-Guide de l'excursion sédimentation et quaternaire, J. Piveteau (dir.), p. 15-21.
- Gumprich A., Bertran P., Fitzsimmons K.E., Zielhofer C., sous presse : Optically stimulated luminescence (OSL) dating of sand-filled wedges structures and their alluvial host sediments from Jonzac, Southwest France. *Boreas*.
- Hamelin L.-E., Cook F.A., 1967 : *Illustrated glossary of periglacial phenomena*. Presses de l'université de Laval, Québec, 237 p.
- Kervazo B., Texier J.-P. 2010 : Le site paléolithique de la grotte XVI (Dordogne, France) : lithostratigraphie, processus de formation et essai de chronologie. *Paléo*, 21, p. 163-187.
- Langohr R., Van Vliet-Lanoë B., 1981 : Properties and distribution of Vistulian permafrost traces in today surface soils of Belgium, with special reference to the data provided by the soil survey. *Biuletyn Peryglacjalny* 28, p. 137-148.
- Lenoble A., Bertran P., Sitzia L., Mercier N., Texier J.-P., 2010 : Délimitation de l'extension et chronologie du pergélisol dans le Sud-Ouest de la France au Pléistocène supérieur, état de la question. Communication présentée à la 23^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, Bordeaux, 25-29 octobre 2010.
- G. Levavasseur, M. Vrac, D. M. Roche, D. Paillard, A. Martin, J. Vandenberghe, 2011: Present and LGM permafrost from climate simulations: contribution of statistical downscaling. *Climate of the Past Discussions*, 7, p. 1647-1692
- Maarleveld G.-C., 1976 : Periglacial phenomena and the mean annual temperature during the last glacial time in the Netherlands. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26, p. 57-78.
- Mackay J.R., 1992 : The frequency of ice-wedge cracking (1967-1987) at Garry Island, western Arctic coast, Canada. *Canadian journal of Earth Sciences*, 29, p. 236-248.
- Matsuoka N., 2011 : Climate and material controls on periglacial soil processes: Toward improving periglacial climate indicators. *Quaternary Research*, 75 (2), p. 356-365.
- Murton J.B., Worsley P., Gozdzik J.S., 2000 : Sand veins and wedges in cold aeolian environments. *Quaternary Science Reviews*, 19, p. 899-922.
- Murton J.B., Kolstrup E., 2003 : Ice-wedge casts as indicators of palaeotemperatures: precise proxy or wishful thinkings? *Progress in Physical Geography*, 27 (2), p. 155-170.
- Payton R. W., 1992 : Fragipan formation in argillic brown earths (Fragiudalfs) of the Milfield Plain, North-East England. I. Evidence for a periglacial stage of development. *Journal of Soil Science*, 43 (4), p. 621-644.
- Pissart A., 1987 : Weichselian periglacial structures and their environmental significance: Belgium, the Netherlands, and northern France. *Periglacial processes and landforms in Britain and Ireland*, J. Boardman (ed.), Cambridge: Cambridge University Press, p. 77-85.
- Renssen H., Vandenberghe J., 2003 : Investigation of the relationship between permafrost distribution in NW Europe and extensive winter sea-ice cover in the North Atlantic Ocean during the cold phases of the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews* 22, (2-4), p. 209-223.
- Sanchez-Goni M.F., Harrison S.P., 2010 : Millennial-scale climate variability and vegetation changes during the Last Glacial: Concepts and terminology. *Quaternary Science Reviews*, 29 (21-22), p. 2823-2827.
- Texier J.-P., Bertran P., 1993 : Nouvelles données sur l'extension d'un Pergélisol en Aquitaine au cours des dernières glaciations. *Permafrost and Periglacial Processes*, 4, p. 183-198.
- Texier J.-P., 1996 : Présence d'un réseau de grands polygones au sud de l'estuaire de la Gironde (France) : interprétation et implications paléoclimatiques. *Géographie physique et Quaternaire*, 50 (1), p. 103-108.
- Texier J.-P., 2009 : *Histoire géologique des sites préhistoriques classiques du Périgord : une vision actualisée*. Editions du CTHS, Paris, 193 p.
- Texier J.-P., 2011 : Genèse des lagunes landaises :

un point sur la question. *De la lagune à l'airial : le peuplement de la Grande Lande*, J.-C. Merlet et J.-P. Bost (éds.), Aquitania suppl. 24, Pessac, p. 23-42.

Tricart J., 1956 : Carte des phénomènes périglaciaires quaternaires en France. *Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*, Ministère de l'industrie et du commerce, Paris.

Vandenberghe J., Pissart A. 1993 : Permafrost changes in Europe during the last glacial. *Permafrost and Periglacial Processes* 4, p. 121-135.

Van Vliet-Lanoë B., Hallégouët B., 2001 : European permafrost at the LGM and at its maximal extent. The geological approach. *Permafrost response on economic development, environmental security and natural resources*, R. Paepe et V. Melnikov (eds.), Kluwer Academic Publishers, p. 195-213.

Velitchko A.A., 1982 : *Paleogeography of Europe during the last one hundred thousand years*. Nauka, Moscou, 156 p.

Washburn A.-L., 1980 : *Geocryology: a survey of periglacial processes and environments*. Arnold, Londres, 2nd éd. 406 p.